



⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Stoecklein, Wolfgang, 70197 Stuttgart, DE; Sugg,  
Bertram, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Boecking,  
Friedrich, 70499 Stuttgart, DE

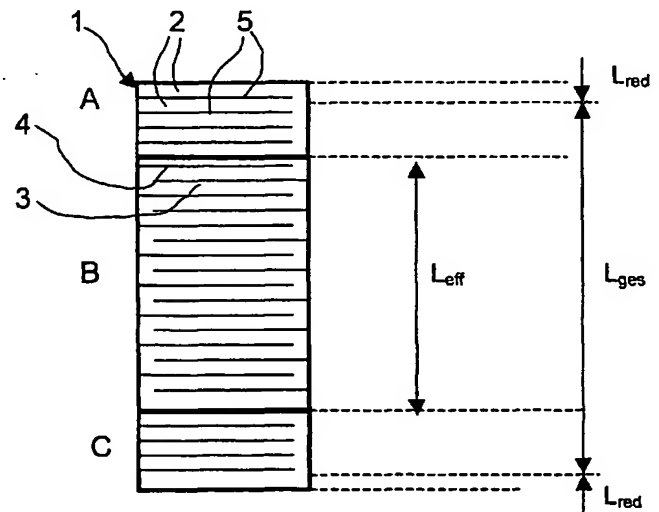
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 198 56 201 A1  
DE 690 28 640 T2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Piezoaktor

⑤7 Es wird ein Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, vorgeschlagen, bei dem der Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) versehen ist und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich (A) über zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden (3, 4) mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar ist. Es ist mindestens ein inaktiver Bereich (B, C) an einem Ende des aktiven Bereichs (A) im Bereich der Gesamteinbaulänge ( $L_{\text{ges}}$ ) im Lagenaufbau des Piezoaktors (1; 6; 7) vorhanden. Im aktiven Bereich (A) ist eine vorgegebene Anzahl (n) von Piezolagen (2) angeordnet und die Länge des mindestens einen inaktiven Bereichs (B, C) wird an die erforderliche Gesamteinbaulänge ( $L_{\text{ges}}$ ) des Piezoaktors (1; 6; 7) angepasst.



[0001] Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils wie ein Ventil oder dergleichen, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

[0002] Es ist allgemein bekannt, dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts ein Piezoelement aus einem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden kann. Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt.

[0003] Da die erforderlichen elektrischen Feldstärken zur Betätigung des Piezoaktors im Bereich von mehreren kV/mm liegen und in der Regel moderate elektrische Spannungen zur Ansteuerung gewünscht sind, erfolgt der Aufbau dieses Piezoaktors hier in mehreren Schichten von übereinandergestapelten metallisierten Piezokeramiken zu einem sog. Multilayer-Aktor. Hierzu sind jeweils zwischen den Schichten Innenelektroden vorhanden, die z. B. mit einem Druckverfahren aufgebracht werden, und es sind Außenelektroden vorhanden, über die die elektrische Spannung angelegt wird. Da diese Aktoren, wie erwähnt, für den Einsatz bei niederen Spannungen gedacht sind, wird die erforderliche elektrische Feldstärke durch einen kleinen Schichtabstand realisiert. Da ein bestimmter Hub mit einer gewissen Spannung erreicht werden soll, werden die Aktoren in der Regel mit einer bestimmten piezoelektrisch aktiven Länge hergestellt, welche einen Teil der Gesamtlänge des Aktors darstellt.

[0004] Aufgrund des extrem schnellen und genau regelbaren Hubeffektes können solche Piezoaktoren zum Bau von Stellern, beispielsweise für den Antrieb von Schaltventilen bei Kraftstoffeinspritzsystemen in Kraftfahrzeugen vorgesehen werden. Hierbei wird die spannungs- oder ladungsgesteuerte Auslenkung des Piezoaktors zur Positionierung eines Steuerventils genutzt, das wiederum den Hub einer Düsennadel regelt.

[0005] Beispielsweise ist aus der EP 0 844 678 A1 ein solcher Piezoaktor bekannt, bei dem zwei, an jeweils gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktorblocks angebrachte, Außenelektroden unterschiedlicher Polarität vorhanden sind. Bei einer von Schicht zu Schicht wechselnden Kontaktierung der Innenelektroden mit den seitlichen Außenelektroden erfolgt die jeweilige Kontaktierung in dem Bereich, in dem in der jeweils benachbarten Schicht keine Innenelektrode an die Außenseite herangeführt ist.

[0006] Bei der Herstellung dieser Piezoaktoren kann als Auswirkungen von unvermeidlichen Fertigungstoleranzen insbesondere eine Schwankung der Dicken der einzelnen Keramikschichten auftreten. Diese Schwankungen können auf unterschiedliche Ursachen beruhen, wie z. B. eine von Charge zu Charge schwankende Grünfoliendicke, ein unterschiedliches Laminierverhalten beim Stapeln der Lagen oder ein unterschiedliches Schwindungsverhalten beim Sintern des Piezoaktorpakets. Diese unerwünschten Variationen haben einen Einfluss auf das sogenannte Großsignalverhalten und somit letztendlich auf den Hub und die elektrische Kapazität des Piezoaktors.

#### Vorteile der Erfindung

[0007] Der eingangs beschriebene Piezoaktor ist, wie erwähnt, mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen und in

einem piezoelektrisch aktiven Bereich zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden aufgebaut und mit einer von Schicht zu Schicht wechselnden Kontaktierung der Innenelektroden, zur Beaufschlagung mit einer elektrischen Spannung, versehen. Es ist weiterhin mindestens ein inaktiver Bereich, z. B. ein Fuß- und/oder Kopfteil, an einem Ende des aktiven Bereichs im Bereich der Gesamteinbaulänge im Lagenaufbau des Piezoaktors vorhanden.

[0008] In vorteilhafter Weise weist der erfindungsgemäße Piezoaktor im aktiven Bereich eine vorgegebene Anzahl von Piezolagen auf und die Länge des mindestens einen inaktiven Bereichs ist auf einfache Weise an die erforderliche Gesamteinbaulänge des Piezoaktors angepasst. Vorzugsweise sind an beiden Enden des Lagen- oder Schichtaufbaus inaktive, in der Länge reduzierbare Bereiche angeordnet.

[0009] Insbesondere ist der erfindungsgemäße Piezoaktor dadurch vorteilhaft, dass bei der Herstellung eine kontrollierte Stapelung einer fest definierten Schichtanzahl  $n$  von piezoelektrisch aktiven Schichten beim Laminieren vorhanden ist. Eine für die jeweilige Einbausituation fest definierte Gesamtlänge des Piezoaktors wird über eine Reduktion der Länge des piezoelektrisch inaktiven Kopf- und/oder Fußstücks realisiert, beispielsweise mit einer Hartbearbeitung durch Schleifen oder ähnliches.

[0010] Der Vorteil des erfindungsgemäßen Piezoaktors ist damit insbesondere eine deutliche Reduktion des Einflusses der Schichtdickenvariation  $\Delta d/d$  auf den Hub und die Kapazität. Unter der, im hier angewendeten Betriebsbereich der elektrischen Feldstärke, gültigen Annahme, dass die Materialparameter wie die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_{33}$  und der piezoelektrische Koeffizient  $d_{33}$  unabhängig von der elektrischen Feldstärke sind, gelten für den Hub  $h$  und die elektrische Kapazität  $C$  die Beziehungen:

$$h = nd_{33}U \quad (1)$$

$$C = n\epsilon_{33}\epsilon_0 A/d \quad (2),$$

wobei  $U$  die elektrische Spannung,  $\epsilon_0$  die elektrische Feldkonstante und  $A$  die piezoelektrisch effektive Fläche des Piezoaktors darstellen.

[0011] Wird, wie nach dem Stand der Technik üblich, ein Piezoaktor mit einer bestimmten effektiven Länge  $L_{\text{eff}} = nd = \text{const.}$  realisiert, so leiten sich aus den Gleichungen (1) und (2) folgende Beziehungen für eine Schwankung des Hubs und der Kapazität bei Schichtdickenschwankungen ab:

$$\Delta h/h = \Delta d/d \quad (3)$$

$$\Delta C/C = 2\Delta d/d \quad (4).$$

[0012] Mit einer erfindungsgemäßen Kontrolle der Schichtanzahl auf eine vorgegebene Anzahl  $n$  reduzieren sich die Schwankungen nach folgender Beziehung:

$$\Delta h/h = 0 \quad (5)$$

$$\Delta C/C = \Delta d/d \quad (6).$$

[0013] Somit variiert nach der Gleichung (5) der Hub  $h$  überhaupt nicht mehr und nach der Gleichung (6) ändert sich die Kapazität  $C$  nur linear mit der Schichtdicke der Piezolagen.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung können die inaktiven Bereiche des Piezoaktors aus Schichten des gleichen Keramikmaterial bestehen wie der aktive Bereich. Vorteilhaft ist hier auch, wenn zwischen den Schich-

ten des inaktiven Bereichs in gleicher Weise wie im aktiven Bereich Innenelektroden angeordnet sind, die elektrisch einseitig oder gar nicht mit Außenelektroden kontaktiert sind; so dass auch die inaktiven Bereiche mit den Innenelektrodenmetallschichten durchsetzt sind. Diese Innenelektroden haben außerdem den Vorteil, dass beim Kosintern des gesamten Piezoaktors das Schwindungsverhalten über die gesamte Länge homogen ist, da beim Sintern in der Regel Metallionen aus der Elektrodenschicht in die Keramik diffundieren und damit das Sinterverhalten beeinflussen. Somit wird die Rissgefahr in den Übergangsbereichen zwischen dem aktiven und den inaktiven Bereichen deutlich reduziert.

[0015] Nach einer anderen Ausführungsform ist der jeweilige inaktive Bereich ein Metall- oder Keramikblock, der beispielsweise auf den piezoelektrisch aktiven Bereich einfach aufgeklebt werden kann. Den inaktiven Kopf- und Fußbereichen können neben der bereits beschriebenen Längeneinstellmöglichkeit des gesamten Piezoaktors weitere Bedeutungen zukommen. So dienen diese Bereiche nach der Montage eventuell auch zur Krafteinleitung bei einer etwa notwendigen mechanischen Vorspannung, zur thermischen Ankopplung und damit der Wärmeableitung sowie schließlich der elektrischen Isolation für die elektrischen Zuleitungen.

#### Zeichnung

[0017] Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Piezoaktors werden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

[0018] Fig. 1 eine Ansicht eines Piezoaktors mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und aktiven und inaktiven Bereichen, die jeweils Innenelektrodenmetallschichten aufweisen;

[0019] Fig. 2 eine Ansicht eines Piezoaktors mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und inaktiven Bereiche als Metall- oder Keramikblöcke und

[0020] Fig. 3 zwei Ansichten eines Piezoaktors mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und einem inaktiven Fußbereich, der die mechanische, thermische und elektrische Anbindung an ein weiteres Bauteil unterstützt.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0021] In Fig. 1 ist ein Piezoaktor 1 gezeigt, der in an sich bekannter Weise aus Piezolagen 2 eines Keramikmaterials mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Gleichspannung an Innenelektroden 3 und 4 über hier nicht näher dargestellte außen kontaktierte Elektroden eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 erfolgt.

[0022] Der Piezoaktor ist in einen piezoelektrisch aktiven Bereich A mit der Länge  $L_{\text{eff}}$  und zwei am Kopf- und am Fußende angebrachte inaktive Bereiche B und C aufgeteilt, wobei hier auch in den inaktiven Bereichen B und C Innenelektrodenmetallschichten 5 angebracht sind, die allerdings elektrisch nicht kontaktiert sind. Im rechten Teil der Fig. 1 ist mit Längspfeilen gezeigt, dass die Gesamtlänge  $L_{\text{ges}}$  aller Bereiche A, B und C durch die reduzierbaren inaktiven

Bereiche B und C mit Bereichen  $L_{\text{red}}$  an die jeweiligen Einbaumaße angepasst werden kann.

[0023] Aus Fig. 2 ist eine Ansicht eines Piezoaktors 6 zu entnehmen, bei dem die inaktiven Bereiche in Abwandlung zum Ausführungsbeispiel nach der Fig. 1, aus Metall- oder Keramikblöcken bestehen, die keine Innenmetallschichten tragen.

[0024] Nach Fig. 3 ist wiederum in Abwandlung des Ausführungsbeispiels nach der Fig. 2 der Fußbereich C eines Piezoaktors 7 als Befestigungselement so ausgeführt, dass er zur Krafteinleitung bei einer mechanischen Vorspannung, zur thermischen Ankopplung und damit der Wärmeableitung sowie schließlich der elektrischen Isolation für die elektrischen Zuleitungen 8 und 9 dient. Im rechten Teil der Fig. 3 ist eine Ansicht X des Fußbereichs C dargestellt.

#### Patentansprüche

1. Piezoaktor, mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) und in einem piezoelektrisch aktiven Bereich (A) zwischen den Lagen angeordneten Innenelektroden (3, 4), die mit einer elektrischen Spannung beaufschlagbar sind und mit mindestens einem inaktiven Bereich (B, C) an einem Ende des aktiven Bereichs (A) im Bereich der Gesamteinbaulänge ( $L_{\text{ges}}$ ) im Lagenaufbau des Piezoaktors (1; 6; 7), dadurch gekennzeichnet, dass im aktiven Bereich (A) eine vorgegebene Anzahl (n) von Piezolagen (2) angeordnet ist und die Länge des mindestens einen inaktiven Bereichs (B, C) an die erforderliche Gesamteinbaulänge ( $L_{\text{ges}}$ ) des Piezoaktors (1; 6; 7) angepasst ist.
2. Piezoaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an beiden Enden des Lagenaufbaus inaktive, in der Länge reduzierbare Bereiche (B, C) angeordnet sind.
3. Piezoaktor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die inaktiven Bereiche (B, C) aus Schichten des gleichen Keramikmaterial hergestellt sind wie der aktive Bereich (A).
4. Piezoaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Schichten des inaktiven Bereichs (B, C) in gleicher Weise wie im aktiven Bereich Innenelektrodenmetallschichten (5) angeordnet sind, die elektrisch einseitig oder gar nicht mit Außenelektroden kontaktiert sind.
5. Piezoaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige inaktive Bereich (B, C) ein Metall- oder Keramikblock ist.
6. Piezoaktor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass über einen Metall- oder Keramikblock (C) eine mechanische und/oder thermische Anbindung an ein weiteres Bauteil und/oder eine elektrische Isolation durchführbar ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

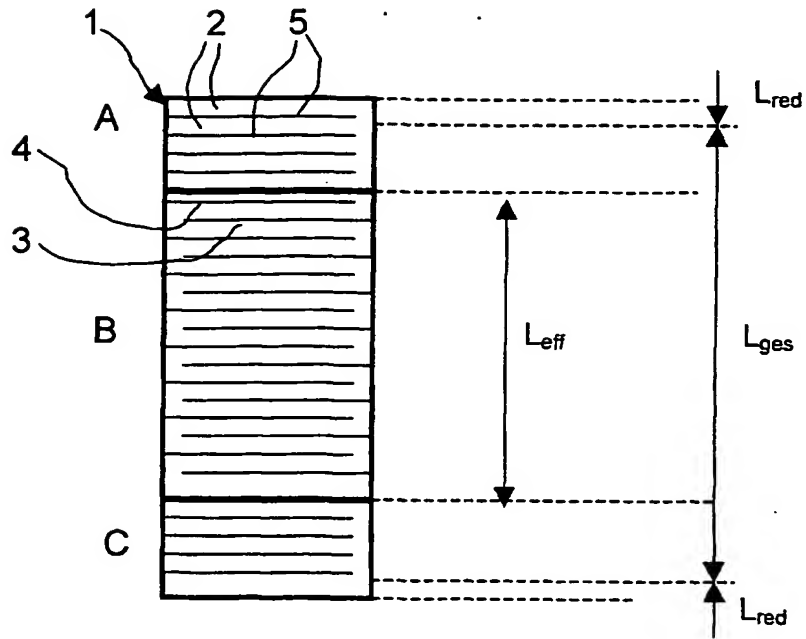


Fig. 1

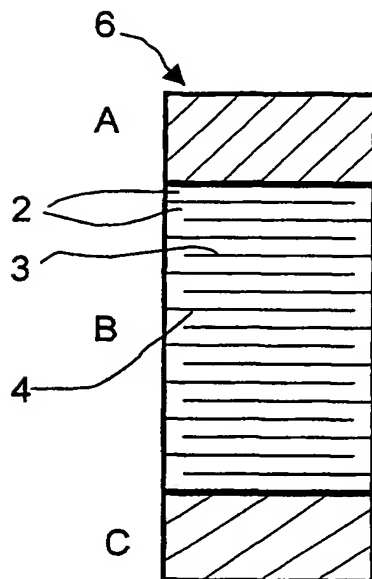


Fig. 2

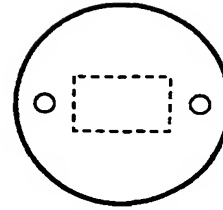
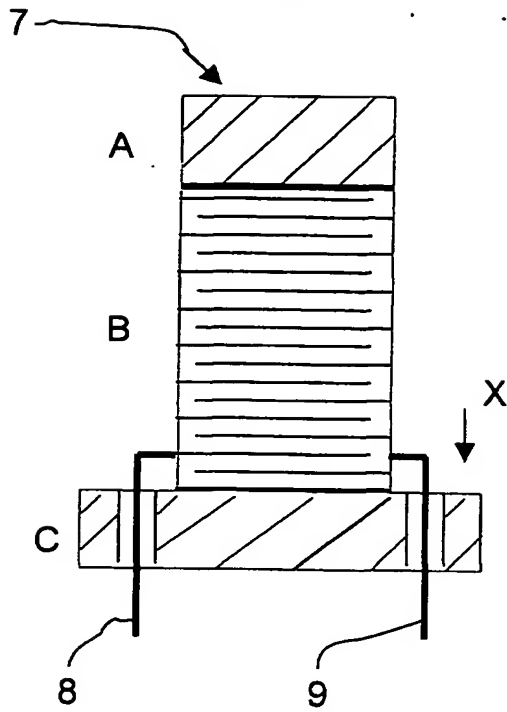


Fig. 3